

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VARIANTNÍ ŘEŠENÍ VÝROBY JEZDCE

MANUFACTURING POSSIBILITIES OF SLIDER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN CHLÁDEK

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Chládek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Variantní řešení výroby jezdce

v anglickém jazyce:

Manufacturing possibilities of slider

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh variantního řešení výroby jezdce aretačního mechanismu z ocelového pozinkovaného plechu. Součástka je komplikovaného tvaru s otvorem a cílem bude navrhnout možné způsoby její výroby.

Cíle bakalářské práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na varianty výroby zadané součásti s návrhem vhodné technologie a vypracováním postupu výroby.

Seznam odborné literatury:

1. NOVOTNÝ, J., LANGER, Z. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13-B3-IV- 41/22674.
2. FOREJT, Milan. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Nakladatelství VUT v Brně. Brno: Rekrorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. Edit.. ISBN 80-214-0294-6.
3. DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
4. ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. Příručka pro lisování za studena. 2. vyd. Praha: SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986.
5. PETRUŽELKA, Jiří, BŘEZINA, Richard. Úvod do tváření II. [s.l.] : [s.n.], 2001. 2 sv. (161, 115 s.).
6. SRP, Karel, et al. Základy lisování. 1. vyd. Praha : SNTL, 1965. 248 s.

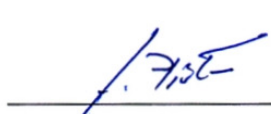
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.


V Brně, dne 16.11.2009

L.S.





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

CHLÁDEK Martin: Variantní řešení výroby jezdce

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia oboru Strojní inženýrství předkládá návrh technologií použitelných při výrobě jezdce, který je součástí aretačního mechanismu vyráběného firmou TOKOZ a.s., a podává zhodnocení jejich vhodnosti. Zvažovanými technologiemi jsou odlévání, vstřikování kovového prášku (MIM), kombinace nekonvenčních metod dělení materiálu a ohýbání, konvenčního stříhání a ohýbání, stříhání a kontinuálního ohýbání tvarovými válci a přesného stříhání a ohýbání. Na základě porovnání parametrů jednotlivých technologií zejména z hlediska požadované přesnosti, nákladů na výrobu jednoho kusu a časové náročnosti byla jako nejvhodnější varianta zvolena z hlediska produktivity kombinace konvenčního stříhání a ohýbání a z hlediska přesnosti výroby kombinace přesného stříhání a ohýbání.

Klíčová slova: srovnání technologií, stříhání, ohýbání, přesné stříhání, nekonvenční metody dělení materiálu, tlakové lití zinku, MIM, vstřikování kovových prášků, kontinuální ohýbání tvarovými válci

ABSTRACT

CHLÁDEK Martin: Manufacturing possibilities of slider

Project drawn up as a part of bachelor studies of mechanical engineering branch brings suggestion of technologies that are usable for manufacturing of slider, which is a part of turn restrictor mechanism produced by the company TOKOZ, and presents assessment of its suitability. Considered technologies are casting, metal injection molding (MIM), combinations of non-conventional methods of material separation and bending, conventional cutting and bending, cutting and roll forming and precision cutting and bending. Upon a comparison of attributes of these technologies especially in term of precision requests, one piece manufacturing expenses and manufacturing time demands was chosen as the most suitable option with regard to productivity combination of conventional cutting and bending and with regard to manufacturing precision combination of precision cutting and bending.

Keywords: technology comparison, cutting, bending, precision cutting, non-conventional methods of material separation, zinc die casting, MIM, metal injection molding, roll forming

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CHLÁDEK, Martin. *Variantní řešení výroby jezdce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 32 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 25. 5. 2010

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji pánům Luboši Dvořákovi a Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování této bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

1. ÚVOD.....	10
2. ROZBOR SOUČÁSTI	11
3. VARIANTNÍ ŘEŠENÍ.....	13
3.1 Odlévání	13
3.1.1 Tlakové lití zinkové slitiny.....	14
3.2 Metoda MIM – vstřikování kovových prášků	15
3.3 Nekonvenční metody dělení plechu a ohýbání plechu	16
3.3.1 Řezání vysokotlakým vodním paprskem	17
3.3.2 Řezání kyslíkem	18
3.3.3 Řezání plazmou	19
3.3.4 Řezání svazkem elektronů.....	20
3.3.5 Řezání laserem	20
3.4 Konvenční stříhání a ohýbání plechu	22
3.5 Stříhání a kontinuální ohýbání tvarovými válci	24
3.6 Přesné stříhání a ohýbání plechu	25
4. ZÁVĚR.....	28

Seznam použitých zdrojů

Seznam příloh

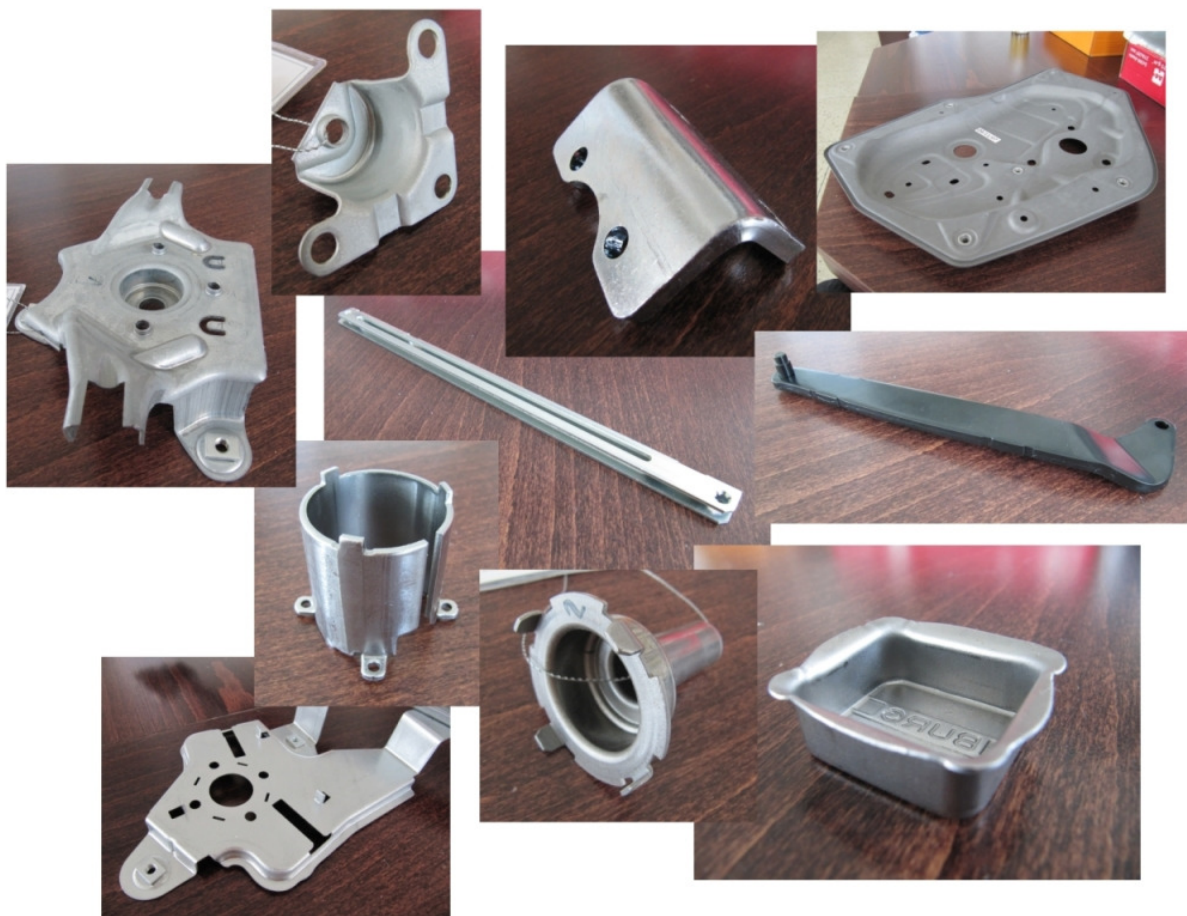
1. ÚVOD [6], [23]

Tvářením se zhotovuje více než 90% výrobků (údaj z roku 2004) a vzhledem k obecně nižšímu procentu odpadu například oproti obrábění nebo k možnosti značné produktivity se jedná stále o velmi perspektivní skupinu výrobních technologií běžně používaných ve strojírenství.

Nejobecněji lze definovat tváření jako výrobní technologii, při které dochází ke změně tvaru zpracovávaného materiálu bez jeho porušení. Z této definice poněkud vybočuje stříhání, při kterém k porušení materiálu dochází. Do tváření se ale řadí, protože je velmi podobné svojí podstatou a použitím ostatním technologiím patřícím do této oblasti.

Tváření se dělí na objemové a plošné. Při objemovém dochází k přesouvání objemu materiálu, tedy ke změně tvaru i průřezu polotovaru, přičemž deformace probíhá ve velké části nebo v celém objemu. U plošného dochází pouze ke změně tvaru polotovaru a jeho tloušťka je zachována nebo se mění jen málo. Deformace probíhá pouze v malé části celého objemu. U objemového tváření se rozlišuje tváření za tepla, do kterého náleží kování, a za studena, kam patří například technologie ražení, pýchování nebo protlačování. Poněkud stranou stojí válcování, které je považováno za technologii hutní. V rámci plošného tváření se rozlišuje stříhání, ohýbání, tažení a další (např. rovnání, zužování nebo rozšiřování).

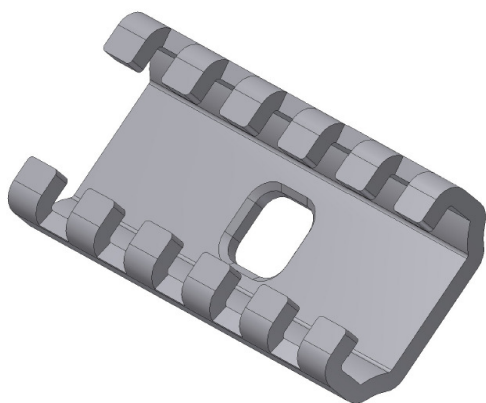
Základními polotovary pro plošné tváření jsou plechy a zejména svítky plechu o různých tloušťkách vyráběné z širokého spektra materiálů. To umožňuje vysokou využitelnost materiálu a výrobu součástí požadovaných vlastností o nízké hmotnosti. Výhodou plošného tváření je možnost vysokého stupně automatizace, s čímž souvisí vysoká produktivita a zároveň nízké náklady na výrobu.



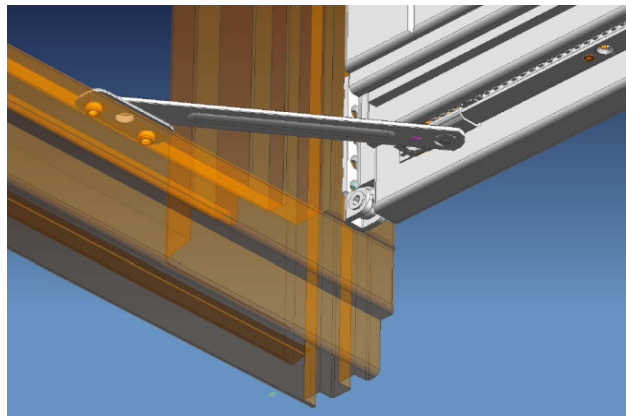
Obr. 1.1 Příklady tvářených součástí z produkce firmy TOKOZ a.s.

2. ROZBOR SOUČÁSTI [32]

Jezdec je součástí aretačního mechanismu, který slouží zejména k zajištění polohy okenního, případně dveřního křídla vůči rámu. Jezdec umožňuje nastavení a zajištění požadované polohy rozpěry. Rozpěra je na straně křídla nasazena na tvarovém čepu, který je roznýtován v otvoru jezdec, a na straně rámu na čepu přípojky, která je k rámu připevněna.



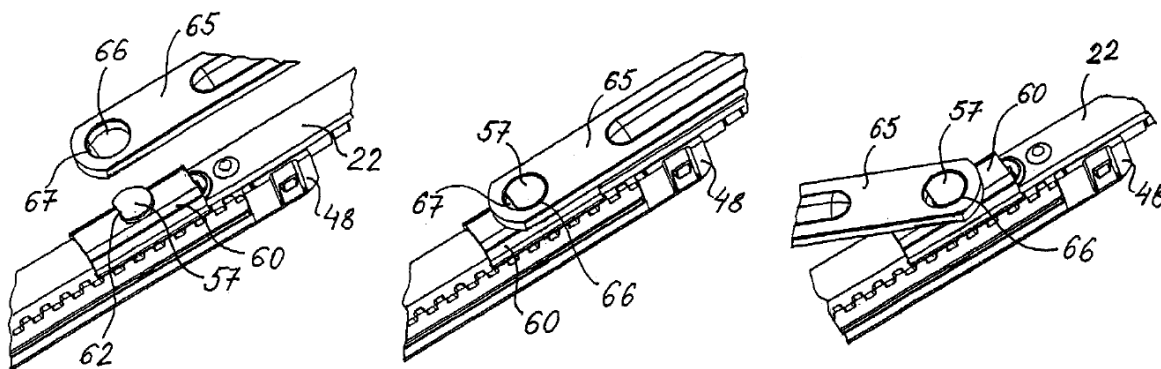
Obr. 2.1 Jezdec



Obr. 2.2 Aretační mechanismus použitý v okně

Hlavními funkčními prvky součásti jsou ozubení, které je v případě aretace mechanismu v záběru s ozubením ozubeného hřebenu, a otvor sloužící k umístění tvarového čepu, na který je nasazena rozpěra mechanismu. Jezdec je nasazen na krycí liště, po které se může volně posuvně pohybovat. Tvar jezdec je uzpůsoben tak, aby jeho pohybu nebránily šrouby upevňující aretační mechanismus do montážní drážky, roznýtované výstupky v nosné liště, kterými je připevněna lišta krycí, ani roznýtovaný konec tvarového čepu.

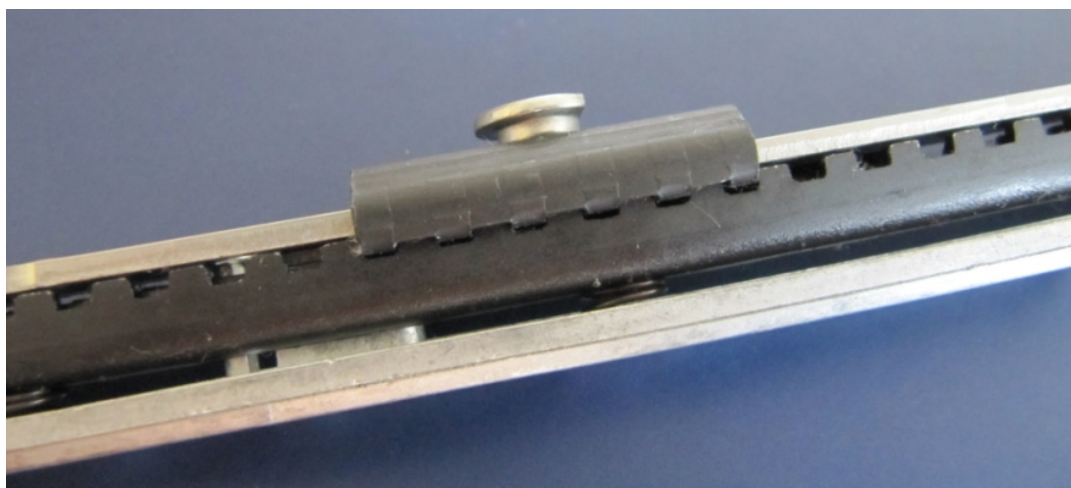
Otvor pro tvarový čep je čtvercový se zaoblenými rohy, aby byla zajištěna přesná poloha čepu a tím i umožněno nasazení rozpěry. V příslušném otvoru rozpěry pro tvarový čep je prolis, který znemožňuje uvolnění rozpěry z čepu, není-li tato v montážní poloze. Při montáži je prolis v rozpěře přímo proti sražení čepu. Po nasazení na čep a pootočení rozpěry dojde k zajištění jejich vzájemné polohy tvarovým stykem.



Obr. 2.3 Montáž rozpěry aretačního mechanismu [32]

Sražení hrany otvoru je zapotřebí kvůli snížení výšky vypuklé části roznýtování čepu, protože materiálu čepu je tak umožněno roztáhnout se více do šířky. Tímto dojde ke snížení pravděpodobnosti výroby neshodné součásti v případě neúplného roznýtování čepu.

Hlavním požadavkem, který umožňuje samotnou funkci jezdec, je dostatečná přesnost vyrobeného ozubení, aby byl zajištěn bezproblémový záběr s ozubeným hřebenem. A to nejen z hlediska uvedené tolerance souměrnosti, ale zejména vzdálenosti a rozměrů jednotlivých zubů, z čehož vyplývají významné nároky na výrobní technologii.



Obr. 2.4 Jezdec a ozubený hřeben v záběru

Značně ztěžujícím faktorem, co se výroby součásti týče, je její uzavřený tvar, který snižuje vhodnost nebo přímo znemožňuje užití některých technologií, které umožňují změnu tvaru polotovaru jen v ploše (2D). Obdobně je nutné pohlížet i na sražení otvoru pro tvarový čep.

Vzhledem k tomu, že jezdec je jednou z pohyblivých součástí aretačního mechanismu, tak je na něj kladen vysoký požadavek na odolnost proti otěru, aby byla zajištěna trvanlivost celého mechanismu po předepsaný počet cyklů. Otěruvzdornost součásti je zajištěna použitím povrchové úpravy ARCOR V7, která také zaručuje korozivzdornost a zlepšuje kluzné vlastnosti a strukturu povrchu.

Materiál předepsaný pro výrobu jezdce ve výkresové dokumentaci je ocel 11 305.21, která je dle doplňkových čísel vyžehána naměkko a lehce převálcována. Ekvivalentní je dle EN materiál s označením DC 04, což je podle EN 10139 a DIN EN 10139 hlubokotažný plech válcovaný za studena určený k tváření za studena, který má ve vyžehnaném stavu tyto parametry:

Tab. 2.1 Mechanické vlastnosti materiálu DC 04 [4], [30]

Vlastnost	Hodnota
smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$	≤ 210 MPa
mez pevnosti R_m	270 až 350 MPa
prodloužení A_{80}	$\geq 38\%$
prodloužení A_{50}	$\geq 40\%$
tvrdost	maximálně 95 HV
vertikální anizotropie r_{90}	$\geq 1,6$
koeficient deformačního zpevnění n_{90}	$\geq 0,18$

3. VARIANTNÍ ŘEŠENÍ

Spektrum technologických možností výroby jezdce je značné. Vhodnost konkrétní výrobní technologie závisí na množství faktorů, z nichž mezi nejvýznamnější patří velikost očekávané výrobní série – do dvou let se očekává nárůst ze současných 80 000 na 200 000 kusů ročně. S tím souvisí zejména časová a finanční náročnost. Vhodné tedy budou technologie s co nejnižší časovou náročností a s co nejnižšími náklady na výrobu jednoho kusu, kde dojde i ke kompenzaci případných vyšších nákladů na zavádění výroby. Je také zapotřebí zohlednit strojovou vybavenost firmy TOKOZ a.s. pro danou technologii. Nákup příslušného zařízení by mohl hrát podstatnou roli v celkových nákladech. Nelze však opomenout možnost výroby součásti v kooperaci s jinou firmou, kdy je ale zapotřebí zohlednit, že nárůst nákladů na výrobu jedné součásti může být natolik vysoký, že v důsledku při dané velikosti série převyší náklady na zavádění nové technologie.

Jezdec je konstrukčně navržen tak, aby bylo výhodné vyrábět jej stříháním a ohýbáním. Určitě se jedná o vhodnou variantu, to však nemusí nutně znamenat, že jde zároveň o variantu optimální.

Je třeba zvážit nejpodstatnější faktory u širokého výběru potenciálně možných výrobních technologií a na základě objektivního zhodnocení jejich významu rozhodnout o nejvhodnější variantě. Některé výrobní technologie jsou na první pohled pro výrobu jezdce nevhodné. Mohou být určeny pro kusovou nebo malosériovou výrobu (např. frézování, tváření pružným prostředím, atd.), jejich užití může být možné pouze u součástí specifických tvarů, například rotačních (soustružení, kovotlačení, atd.), nebo se může jednat o technologie, jejichž aplikace je natolik finančně náročná, že je lze uplatnit pouze v případech, kdy neexistuje jiná možnost. Nemá tedy smysl se jimi dále zabývat.

Z důvodu co největší objektivnosti výsledné volby nebude brán zřetel na předepsaný materiál uvedený na výkresu součásti. V případě jeho změny, dané zvažovanou technologií, je zapotřebí zvolit materiál s obdobnými nebo lepšími vlastnostmi.

S ohledem na výše uvedené skutečnosti jsou nejpravděpodobnější metody výroby jezdce tyto:

- Odlévání
- Metoda MIM – vstřikování kovových prášků
- Nekonenční metody dělení plechu a ohýbání plechu
- Konvenční stříhání a ohýbání plechu
- Stříhání a kontinuální ohýbání tvarovými válci
- Přesné stříhání a ohýbání plechu

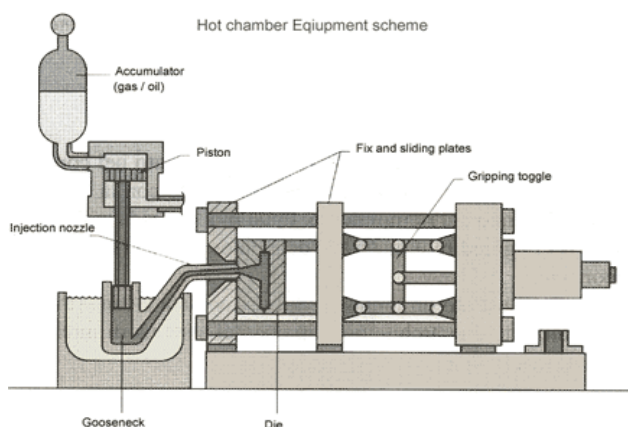
3.1 Odlévání [21]

Odlévání je potenciálně velmi produktivní metoda, při které je vzhledem k možnosti znovupoužití vtokových soustav zanedbatelné množství odpadu, takže může být ekonomicky velmi výhodná.

Jezdec je bohužel natolik malá součást, že nepřipadá v úvahu jeho odlévání z oceli, která má špatnou zabíhavost. V případě využití tlakového lití, které by teoreticky umožňovalo dobré vyplnění dutiny formy, nastává problém s příliš vysokou teplotou taveniny. Kvůli dosažení dostatečné přesnosti odlitku by bylo zapotřebí použít ocelovou formu. Jako mezní teplota taveniny při tlakovém lití do ocelové formy se uvádí 1000 °C, ale teplota tavení slitin železa se pohybuje od cca 1150 °C výše. Odlévat jezdec z oceli tedy není možné.

3.1.1 Tlakové lití zinkové slitiny:

Vhodnou variantou by bylo použít místo oceli některou ze zinkových slitin, které mají vynikající zabíhavost.



Obr. 3.1 Schéma tlakového lití [9]



Obr. 3.2 Odlitky vyrobené tlakovým litím zinkové slitiny [20]

Mechanické vlastnosti zinkové slitiny Zamak 5 (Zn410), která je pro tlakové lití běžně používána, jsou srovnatelné s ocelí DC 04. Jediným rozdílem mezi těmito dvěma materiály je hodnota tažnosti, která však u odlitku nemá zásadní význam, protože ho není třeba ohýbat ani nijak tvářet.

Tab. 3.1 Srovnání některých vlastností oceli DC 04 a zinkové slitiny Zamak 5 [34]

Vlastnost	DC 04	Zamak 5	Zamak 5 vystárnutá
smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$	≤ 210 MPa	295 MPa	-
mez pevnosti R_m	270 až 350 MPa	≤ 331 MPa	270 MPa
tvrdost	max. 95 HV	114 HB = 114 HV	-

Uváděné hodnoty parametrů slitiny však nezohledňují vady ve struktuře odlitku. Velmi významnou roli hraje pórovitost, které nelze při běžných postupech tlakového lití zabránit. V jejím důsledku dochází k významnému poklesu pevnosti slitiny, což je vzhledem ke značnému zatížení jezdce nezanedbatelné.

Na zinkovou slitinu nelze použít povrchovou úpravu ARCOR, takže by bylo nutné zajistit odolnost proti otěru jiným způsobem. Odolnost zinku proti korozi je dobrá, přesto však nemusí být dostatečná. Bylo by tedy zapotřebí provést ověřovací zkoušky a výsledek zohlednit při volbě povrchové úpravy.

Vzhledem ke komplexnímu tvaru jezdce by konstrukce formy pro tlakové lití byla velmi složitá a vyžadovala by velké množství pohyblivých prvků. Protože se jedná o součást malých rozměrů, tak by se v jednom licím cyklu dalo odlévat až několik desítek kusů. Celá roční výrobní dávka by se tak dala odlít ve velmi krátkém čase, takže využití formy, jejíž cena by se pohybovala ve stovkách tisíc Kč, by bylo velmi malé. Na druhou stranu trvanlivost forem pro tlakové lití zinkové slitiny se běžně pohybuje ve statisících licích cyklů. V případě dlouhodobé výroby nebo navýšení počtu vyráběných kusů by se náklady na formu mohly vrátit v ušetřené pracovní síle a materiálu.

Značným problémem je vysoká požadovaná přesnost výroby. Oblast pracovních teplot forem pro tlakové lití je relativně velká, takže vlivem teplotní roztažnosti se mohou měnit rozměry dutin formy v rozsahu, kdy nemusí být splněny předepsané tolerance odlitků. Naproti tomu smršťování odlitků lze velmi dobře předvídat, a proto by nemělo způsobovat závažnější obtíže.

Jezdec je navržen tak, aby bylo vhodné jej vyrábět tvářením z plechu. Pokud by byla změněna technologie výroby na tlakové lití zinkové slitiny, musel by se pozměnit tvar součásti, aby lépe vyhovoval jejím specifikům – zejména s ohledem na vznik dutin a ředin v odlitcích. Na druhou stranu by bylo možné sloučit jezdec s tvarovým čepem, čímž by se ušetřily náklady na jednu montážní operaci a výrobu čepu.

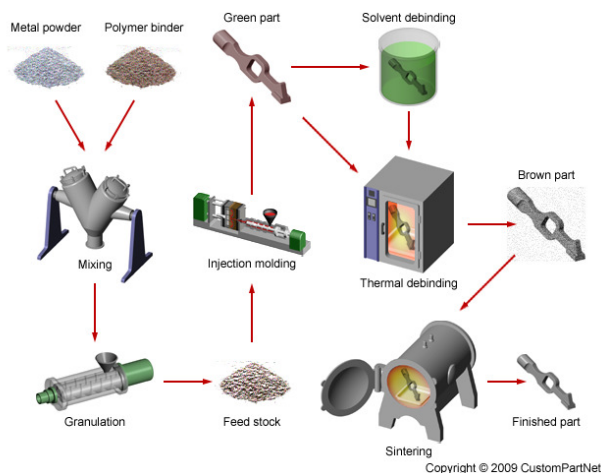
Důležitým faktorem je to, že technologie tlakového lití zinkové slitiny je ve firmě TOKOZ a.s. velmi dobře zvládnutá a ve firmě je na ni množství odborníků.

- | | |
|----------|--|
| Výhody | <ul style="list-style-type: none">- velmi vysoká produktivita- malé procento odpadu- dobře zvládnutá technologie- možnost odlévat společně s tvarovým čepem |
| Nevýhody | <ul style="list-style-type: none">- pravděpodobně nedostatečné mechanické vlastnosti v důsledku porezity- vysoké náklady na výrobu formy- složitá konstrukce formy- nutnost změnit tvar a materiál součásti- možné obtíže s dosažením předepsaných tolerancí rozměrů v důsledku teplotní roztažnosti formy |

3.2 Metoda MIM – vstříkování kovových prášků [16], [31]

Vhodnou technologií výroby menších součástí z oceli s vysokou tvarovou přesností je metoda MIM - Metal Injection Molding, česky uváděná jako vstříkování kovových prášků. Jedná se o kombinaci principů používaných při vstříkování plastů a principů práškové metalurgie. Umožňuje zpracování širokého spektra materiálů od lehkých kovů (Mg, Zn apod.) přes nízkolegované, korozivzdorné a nástrojové oceli, speciální slitiny (např. slitiny W, Co, Ti nebo Ni) až po karbidy, keramiku nebo kompozity. Uplatnění nachází zejména u velkosériově vyráběných součástí, které jsou tvarově komplexní nebo vyžadují specifické vlastnosti materiálu, zejména v oblastech automobilového, leteckého a zdravotnického průmyslu. Hmotnost výrobků se pohybuje nejčastěji pod 50 g, horní hranice je okolo 250 g.

Mísením kovového prášku o velikosti částic nižší než 20 μm s polymerovým práškovým pojivem v přesném poměru za zvýšené teploty dojde k rovnoměrnému pokrytí kovových částic pojivem. Takto vzniklá směs se granuluje, aby bylo možné použít ji ve vstříkovacím zařízení. Ve stroji dojde při teplotě cca 200 °C k opětovnému roztavení polymerového pojiva – termoplastu. Vzniklá hmota je vstříknuta pod tlakem do formy, která může mít i více dutin. Dutiny musí být o cca 20 % větší, kvůli kompenzaci smrštění při slinování, konkrétní hodnota je dána použitým materiálem. Vychladlý vstřík nazývaný „green part“ se následně zbavuje pojiva, nejčastěji chemickou nebo tepelnou cestou, množství postupů je však značné. Vysoce porézní součást zbavená pojiva, tzv. „brown part“, se následně vkládá do slinovací pece, kde za vysoké teploty v ochranné atmosféře dojde k odpaření zbývajícího pojiva a ke slinutí kovového prášku. Hotová součást má obvykle střední hustotu vyšší než 97 % teoretické hustoty daného materiálu. V případě potřeby následují dokončovací operace.



Obr. 3.3 Princip metody MIM [5]



Obr. 3.4 Součásti vyrobené metodou MIM [16]

Přesnost rozměrů součástí vyrobených metodou MIM je $\pm 0,5 \%$, výjimečně až $\pm 0,3 \%$, s vyšší přesností však také narůstá i cena. Kvůli nutnosti odstranit před slinováním pojivo je vhodné, aby největší tloušťka stěny součásti byla do 6 mm, jinak značně narůstá doba zpracování.

V případě použití této technologie by bylo možné obdobně jako v případě odlévání sloučit jezdec s tvarovým čepem a tím ušetřit výrobní a montážní náklady spojené s čepem. Přesnost je více než dostatečná – pro rozměr 2,6 s předepsanou tolerancí 0,05 mm je dosažitelná hodnota 0,026 mm pro rozptyl $\pm 0,5 \%$. Materiálové a pevnostní vlastnosti výrobku by byly minimálně srovnatelné s výrobkem z válcovaného plechu, ale vzhledem k minimalizaci nehomogenit a vad by mohly být dokonce lepší. Jedinou zásadní nevýhodou metody MIM jsou náklady. Vzhledem k potřebě celého výrobního zařízení by bylo nezbytně nutné vyrábět jezdec v kooperaci, protože zavádění takto specifické technologie by bylo nerentabilní. Také náklady na vstupní materiál a energie tento proces prodražují.

- | | |
|----------|--|
| Výhody | <ul style="list-style-type: none"> - vysoká produktivita - prakticky bez odpadu - vysoká rozměrová přesnost - možnost vyrábět společně s tvarovým čepem - vynikající vlastnosti materiálu |
| Nevýhody | <ul style="list-style-type: none"> - nutnost výroby v kooperaci - vysoké náklady |

3.3 Nekonvenční metody dělení plechu a ohýbání plechu

Existuje značné množství způsobů dělení materiálu, které lze rozdělit na konvenční a nekonvenční. Konvenční metody jsou zastoupeny třískovým dělením materiálu (např. řezání, upichování) a beztrískovým (např. lámání, stříhání), jsou tedy založeny na interakci materiálu s pevným nástrojem. Naproti tomu nekonvenční metody jsou obvykle založeny na kinetickém a teplotním účinku nepevného řezného média a v mnoha případech jsou velmi blízké některým technologiím svařování.

Mezi uvažované nekonvenční metody dělení materiálu patří řezání vysokotlakým vodním paprskem, řezání kyslíkem, řezání plazmou, řezání svazkem elektronů a řezání laserem.

Zásadní nevýhodou této kombinace výrobních technologií je nemožnost provádět výrobu na jednom stroji – je nutné provést řezání a následně ohyb na jiném pracovišti, čímž narůstá

výrobní čas součásti a zároveň náklady, což je vzhledem k vysoké sériovosti výroby zásadní. Je totiž nutné polotovary převážet, ohyb musí být prováděn po jednotlivých kusech a řezací zařízení pro nekonvenční dělení obvykle nejsou uzpůsobena na řezání materiálu ve formě pásu, takže je nutné buď nakupovat materiál ve formě tabulí, nebo tabule připravovat.

Převoz je nezbytný, zejména protože nekonvenční metody dělení materiálu jsou buď velmi hlučné, nebo mohou být nebezpečné, případně při nich vzniká značné množství zplodin, takže je vhodné zařízení umístit mimo běžnou výrobu. Zároveň není příliš pravděpodobné, že by dispozice výroby ve firmě umožňovala umístění obou nezbytných výrobních strojů v těsné blízkosti.

Ohyb musí být prováděn po jednotlivých kusech. Z toho vyplývá potřeba dalšího pracovníka, který by zakládal jednotlivé polotovary do lisu, nebo nutnost zakoupení jednoúčelového automatu, který by ohyb zajišťoval. V případě koupě automatu by však byla přesto pravděpodobně zapotřebí obsluha, protože vzhledem ke komplikovanému tvaru polotovaru by byla velmi obtížná konstrukce zásobníku. Pokud by byl polotovar ohýbán na lisu, je dokonce možné, že by bylo nezbytné kvůli uzavřenému tvaru součásti ohyb provádět ve dvou operacích, protože seřízení a výroba nástroje pro ohyb do U a následné zahnutí ozubení v jedné operaci by byla příliš obtížná a tím pádem ekonomicky náročná.

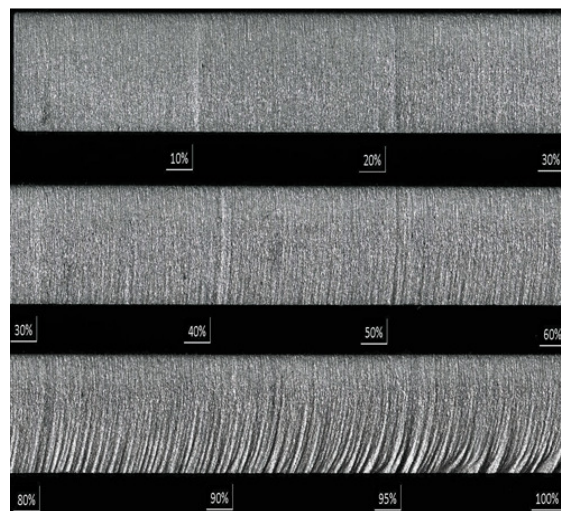
Každá z uvažovaných metod dělení má svoje specifika, je tedy zapotřebí je hodnotit každou zvlášť.

3.3.1 Řezání vysokotlakým vodním paprskem [2], [3], [11], [14], [28]

Řezání vysokotlakým vodním paprskem je založeno na přeměně kinetické energie paprsku při dopadu na řezaný materiál a na účinku kavitační koroze, ke které při řezání dochází. V případě řezání tvrdých nebo houževnatých materiálů se do vodního paprsku přidávají abrazivní částice, které zintenzivňují celý proces.



Obr. 3.5 Řezání vodním paprskem [1]



Obr. 3.6 Vliv řezné rychlosti na kvalitu řezu (korozi-vzdorná ocel tl. 6 mm) [11]

Řezání vysokotlakým vodním paprskem poskytuje relativně kvalitní řeznou plochu (kvalita závisí na řezných podmínkách) s přesností až $\pm 0,1$ mm bez tepelného ovlivnění řezu. Vodním paprskem lze řezat téměř všechny materiály a lze dosáhnout i velmi složitých tvarů řezu. Vzhledem k tomu, že řezaný materiál DC 04 je hlubokotažná ocel, je možné, že by bylo nutné použití abrazivního paprsku, u kterého je však šířka řezné spáry 1,1 až 2,5 mm. V případě použití čistého vodního paprsku se tato hodnota pohybuje mezi 0,1 až 0,3 mm. Řez není zcela kolmý, přičemž odchylka se pohybuje mezi 1° až 7° a dosahovaná struktura povrchu je $Ra 2,5$

až 12 μm . Tyto parametry jsou vzhledem k požadované přesnosti řezu nedostačující (viz výkresová dokumentace). Zároveň je nutné zohlednit riziko koroze, protože tato ocel není korozivzdorná, a povrchová úprava korozivzdornost zajišťující je prováděna až na konci výrobního procesu. Z tohoto důvodu by bylo nutné řezané součásti vhodně chránit. Uváděná rychlost posuvu řezné hlavy pro ocelový materiál tloušťky 1 mm je $450 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ při použití granátového abraziva a vysoké kvality řezu [14], což je hodnota vzhledem k předpokládané délce řezu příliš nízká. Kvalita řezu navíc silně závisí na řezné rychlosti. Ačkoliv se tento problém týká zejména materiálů vyšší tloušťky, tak reálná rychlost může být v důsledku tohoto faktu ještě nižší.

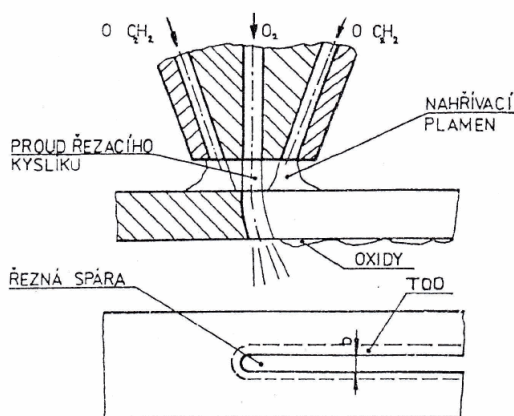
Provoz zařízení pro řezání vodním paprskem je hlučný a velmi nákladný. [28] uvádí, že náklady jsou v porovnání s řezáním plazmou 5x až 20x vyšší, přičemž záleží na konkrétních parametrech.

- Výhody - nedochází k tepelnému ovlivnění řezu
 Nevýhody - nedostatečná přesnost, kvalita a rychlost řezu
 - příliš široká řezná spára
 - riziko koroze

3.3.2 Řezání kyslíkem [6], [13]

Řezání kyslíkem je založeno na spalování řezaného materiálu v plamenu, který je nejčastěji kyslíko-acetylenový a dosahuje teploty cca 3150°C . Vysoká teplota vede ke vzniku tepelně ovlivněné oblasti (TOO) v okolí řezu v rozsahu 0,1 až 8 mm. Se vznikem TOO souvisí riziko zkřehnutí materiálu a nebezpečí lomu při ohybu ozubení, které je v bezprostřední blízkosti řezu. Kyslíkem jsou řezatelné bez problémů pouze nízkouhlíkové oceli, což materiál DC 04 je. Řez kyslíkem je velmi nekvalitní. Standardně vyráběné hořáky jsou uzpůsobeny pro řezání materiálu o tloušťce 3 až 300 mm, takže nejsou vhodné pro řezání plechu o tloušťce 1,2 mm. Výhodou je, že se jedná o technologii v zásadě jednoduchou a nepříliš nákladnou.

Zásadní je však fakt, že tento způsob dělení materiálu není určen pro velkosériovou výrobu a ani pro součásti malých rozměrů.



Obr. 3.7 Schéma řezání kyslíkem [6]

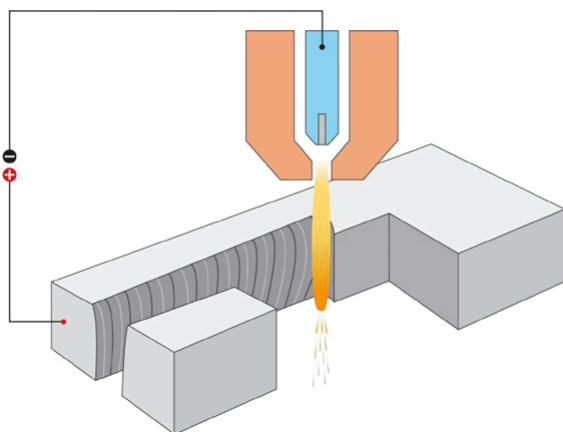


Obr. 3.8 Řezací hlava pro řezání kyslíkem v různých polohách [15]

- Výhody - žádné výrazné výhody
 Nevýhody - nedostatečná kvalita řezu
 - změna vlastností materiálu v důsledku tepelného ovlivnění
 - řezání kyslíkem není vhodné pro sériovou výrobu součástí
 - řezání kyslíkem není vhodné pro výrobu součástí malých rozměrů

3.3.3 Řezání plazmou [12], [18], [29], [33]

Řezání plazmou je založeno na podobném principu jako svařování plazmou. Využívá vysoké teploty plazmového paprsku, který vzniká rozkladem molekul plynu procházejícího elektrickým obloukem, a v případě že jsou výstupní rychlost a průtok plazmového plynu dostatečně vysoké, dojde k vyfukování roztaveného materiálu z řezné spáry. Existuje množství variant, lišících se použitým plazmovým plynem nebo různými metodami stabilizace plazmového paprsku. Pro řezání má zásadní význam zaostření paprsku. Důležitou roli hraje také asistentní plyn, který vytváří okolo paprsku plazmatu ochrannou atmosféru. Volba těchto plynů je podmíněna zejména druhem řezaného materiálu a jeho tloušťkou.



Obr. 3.9 Jednoduché schéma řezání plazmou [18]



Obr. 3.10 Řezání plazmou na CNC zařízení [18]

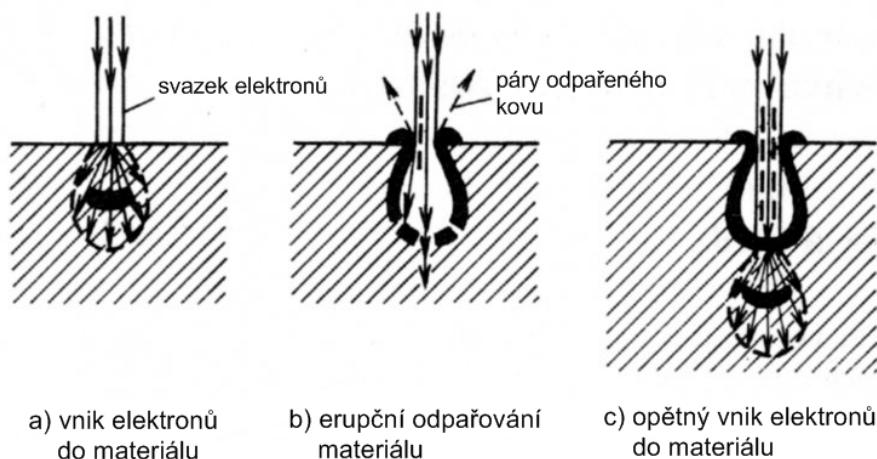
Řezání plazmou může dosahovat u tenkých plechů rychlosti $9 - 12 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Řezatelné jsou všechny kovové materiály, maximální tloušťka řezaného materiálu může být až cca 250 mm, vhodné je však použití do tloušťky cca 40 mm. Vzhledem k vyšší rychlosti řezání dochází ke snížení velikosti vneseného tepla do řezu a tím i zmenšení tepelně ovlivněné oblasti oproti řezání kyslíkem. Pokud je použita některá z vyspělejších variant s úzkým paprskem (HD plazma, plazma stabilizovaná vodní parou), je kvalita řezu velmi dobrá a je do značné míry zlepšena i jeho kolmost. Jednou z nevýhod řezání plazmou je totiž úkos plochy řezu a zaoblení horní hrany řezu. V současné době je na trhu velké množství CNC řezacích zařízení, která jsou však drahá.

Nevýhodou této metody dělení materiálu je zejména velmi vysoká hlučnost (až 120 dB), vznik intenzivního UV záření a značného množství zplodin. Tyto negativní efekty lze výrazně omezit řezáním pod vodou, při kterém je také snížena velikost TOO. S tím bohužel souvisí riziko koroze, protože ocelový plech DC 04 není korozivzdorný. Pro řezání pod vodou je také nutné použít plazmový hořák s vodní stabilizací.

- | | |
|----------|---|
| Výhody | - relativně vysoká rychlost řezání |
| | - potenciálně vysoká kvalita řezu |
| Nevýhody | - vysoké pořizovací náklady |
| | - změna vlastností materiálu v důsledku tepelného ovlivnění |
| | - negativní průvodní jevy při řezání nebo riziko koroze |

3.3.4 Řezání svazkem elektronů [18], [27]

Řezání svazkem elektronů je založeno na přeměně kinetické energie vysoce urychleného svazku elektronů (na asi $2/3$ rychlosti světla) na energii tepelnou při dopadu paprsku na materiál. Dochází k tavení a odpařování materiálu. Hlavní využití nachází tato technologie v oblasti svařování, a to zejména u obtížně zpracovatelných nebo vysoce reaktivních kovů a slitin. Jeho využití pro obrábění a řezání není časté, dnes se často nahrazuje použitím laseru.



Obr. 3.11 Princip řezání svazkem elektronů [27]

Jedná se o metodu velmi přesnou. Ačkoliv se jedná o tepelné dělení, tak vzhledem k velmi úzkému paprsku a vysoké měrné energii je TOO velmi malá, řádově několik desetin milimetru. Dosažitelná šířka řezné drážky u tenkých materiálů (méně než 1 mm) je nižší než 100 μm . Rychlost řezání je pouze řádově v centimetrech za minutu.

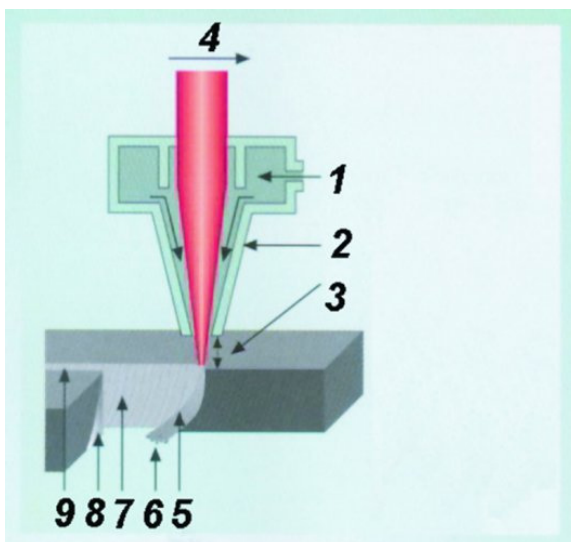
Zásadní nevýhodou je potřeba řezat ve vakuu, jehož vytvoření trvá dlouho, takže použití pro velkosériovou výrobu nepřipadá v úvahu. Je možné použití speciálních zařízení umožňujících řezání bez vakua, to má ale negativní dopad na kvalitu řezu. Dalšími negativními faktory je vznik RTG záření a velmi vysoká pořizovací cena zařízení.

- | | |
|----------|--|
| Výhody | - vysoká přesnost a kvalita řezu |
| Nevýhody | - velmi vysoké pořizovací náklady |
| | - nízká rychlost řezu |
| | - absolutně nevhodné pro sériovou výrobu |

3.3.5 Řezání laserem [12], [17], [18], [25], [26]

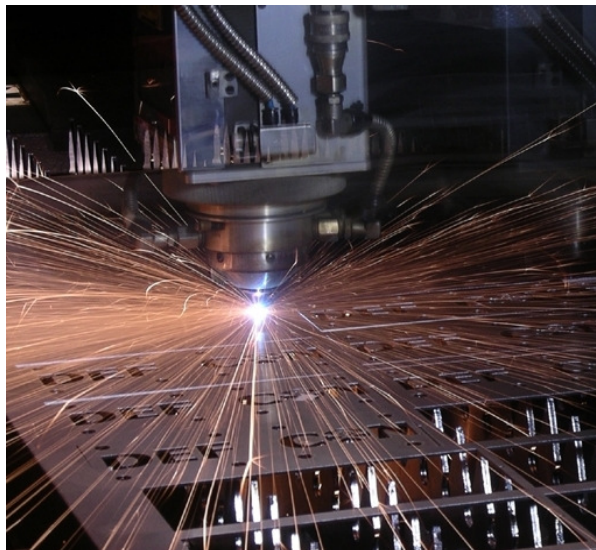
Řezání laserem je založeno na využití energie fotonů dopadajících na materiál, což se projeví zvýšením teploty materiálu. Při řezání dochází buď k přímému spalování materiálu, zejména při řezání nízkolegovaných a uhlíkových ocelí, kde je jako pracovní plyn použit kyslík, nebo k odpařování materiálu, k jeho natavování a vyfukování z místa řezu pracovním plynem, který proudí řezací tryskou okolo laserového paprsku. Někdy se používá i kombinace těchto principů řezání.

Existuje velké množství druhů laserů, přičemž nejčastěji se dělí podle aktivního prostředí, v němž dochází ke vzniku světelného záření. Obvykle se uvádí lasery pevnolátkové (např. rubínový nebo Nd:YAG), plynové (např. CO_2 , helium-neonový, argonový) a polovodičové, některé zdroje zmiňují i kapalinové a plazmové. K dělení se nejčastěji používají CO_2 lasery o výkonech v řádu tisíců wattů nebo v případě potřeby přesnějšího řezu Nd:YAG lasery výkonů do 1 kW.



Obr. 3.12 Schéma řezání laserem [26]

1 - asistentní plyn, 2 - řezací tryska, 3 - pracovní vzdálenost trysky, 4 - rychlost, 5 - tavenina, 6 - odtavený materiál, 7 - stopy po paprsku laseru, 8 - tepelně ovlivněná oblast, 9 - šířka řezu



Obr. 3.13 Ukázka řezání laserem [18]

Při řezání laserem je dosahováno vysokých rychlostí řezu – řádově v desítkách metrů za minutu, přičemž je možné řezat prakticky libovolný materiál. Maximální tloušťka řezaného materiálu je dána parametry laseru, zejména jeho typem a výkonem, u konstrukčních ocelí se uvádí jako mezní hodnota 25 mm. Kvalita řezu je velmi vysoká, struktura povrchu řezné plochy dosahuje obvykle R_a 3,6 až 12 μm . Velmi vysoká je také přesnost, která bývá cca 0,05 až 0,1 mm na 1 m řezu, přičemž šířka řezné spáry bývá 0,02 až 0,2 mm. Šířka TOO se běžně pohybuje mezi 0,02 a 0,2 mm. Kvalitativní parametry závisí zejména na použitém principu řezání.

Na trhu je velké množství CNC řezacích i víceúčelových center. Ta umožňují kromě řezání, které je nejčastější aplikací laserů, i svařování, vrtání, lokální kalení laserem, povlakování, gravírování (mikrofrézování) apod.. To může zlepšit návratnost značné investice nutné na pořízení takového komplexního zařízení.

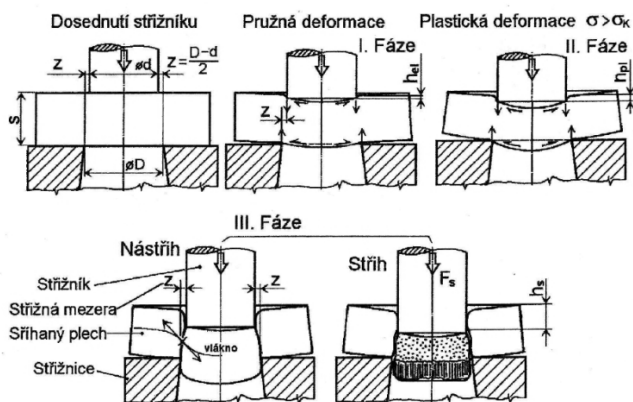
Jistou nevýhodou této metody dělení materiálu je nebezpečí odražení laserového paprsku, který může způsobit popáleniny a zejména závažná poškození zraku, pokud není vhodně chráněn.

Výhody - velmi vysoká přesnost a kvalita řezu
- velká rychlost řezání
- minimální TOO

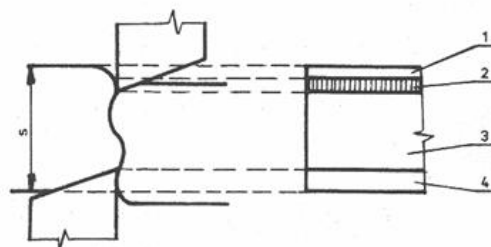
Nevýhody - vysoké pořizovací náklady

3.4 Konvenční stříhání a ohýbání plechu [6], [19], [22], [24]

Stříhání je nejčastější technologií zpracování plechů. Je založeno na oddělení materiálu pomocí dvou protilehlých nožů. K oddělení dochází ve střížné rovině, ve které se oba nože pohybují.



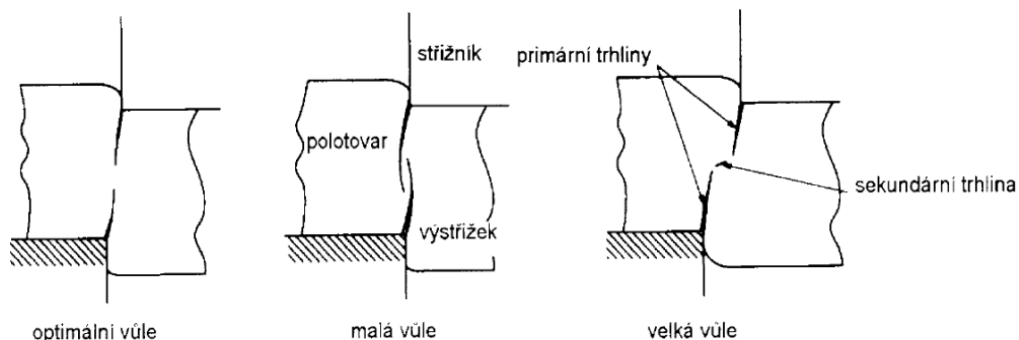
Obr. 3.14 Fáze stříhu [10]



Obr. 3.15 Pásma stříhu [22]

V první fázi stříhu dochází k vtažení nožů do materiálu. Druhá fáze nastává po překročení meze kluzu R_e materiálu, přičemž je materiál plasticky deformován. Ve fázi třetí, která nastává po překročení meze pevnosti stříhaného materiálu ve smyku τ_m , dojde k lomu materiálu, takzvanému usmýknutí.

Všechny tyto fáze se projevují na povrchu střížné plochy, přičemž šířka jednotlivých pásem závisí zejména na pevnosti materiálu a na stavu nástroje. Obvykle jsou rozlišitelná čtyři takováto pásma. Pásma vzniklé v první, elastické, fázi se nazývá pásmo zaoblení. Obvykle tvoří mezi 5 – 8 % tloušťky stříhaného plechu. Druhé pásmo někdy nazývané pásmo vlastního stříhu, které vzniká v plastické fázi stříhu, tvoří 10 – 25 %, některé zdroje uvádí až hodnotu 40 %. Třetí pásmo vznikající po překročení meze pevnosti ve stříhu, tzv. pásmo utržení nebo usmýknutí, zabírá obvykle největší část střížné plochy – až 80 %. Čtvrté je pásmo otlacení od spodního nože. V tomto pásmu může dojít v závislosti na vlastnostech materiálu ke vzniku ostřiny. Někdy, podle konstrukce nástroje, dochází ke vzniku pásma otěru, jehož velikost je dána zejména velikostí střížné vůle. Bývá umístěno ve střední části pásma utržení. Obecně je žádoucí, aby pásmo vlastního stříhu bylo co největší. Jeho velikost blízkou souvisí s velikostí pásma utržení, které nejvíce závisí na tvrdosti a křehkosti materiálu – čím je vyšší křehkost a tvrdost, tím je větší pásmo utržení. Velikost prvního a čtvrtého pásma je závislá na míře otupení nožů nástroje a narůstá se zvyšující se tvárností stříhaného materiálu.

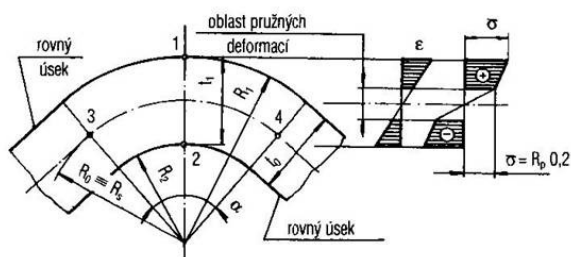


Obr. 3.16 Vliv střížné vůle na průběh stříhu [24]

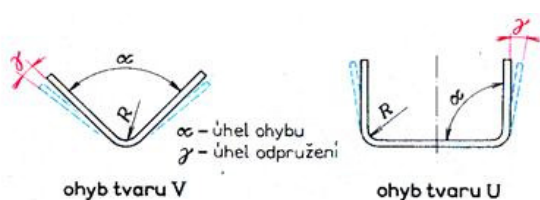
Zásadní vliv na kvalitu střížné plochy má velikost střížné vůle, což je obecně vzdálenost mezi protilehlými noži kolmo na rovinu stříhu. Při překročení meze pevnosti ve smyku materiálu dochází při stříhání ke vzniku trhlin na břitech obou nožů. Tyto trhliny postupně rostou, a pokud je optimálně zvolena střížná vůle, tak se svými čely nakonec spojí. V případě příliš velké nebo malé vůle dochází k tvorbě třísek nebo zátrhů, čímž se značně zhoršuje kvalita střížné plochy.

Vlivem plastické deformace materiálu dochází v blízkém okolí střížné plochy k jeho zpevnění, což může v nepříznivém případě vést ke vzniku trhlin na střížné ploše v případě následného ohýbání.

Ohýbání je proces, při kterém vlivem ohybového momentu vznikajícího od vnějších sil dochází k pružně-plastické deformaci materiálu. Ohnuté tvary lze, na rozdíl od tažených, rozvinout. Deformace je často silně lokalizovaná. V místě ohybu není při ohýbání v průřezu materiálu konstantní napětí. To se od vnějšího poloměru ohybu mění od maximální hodnoty napětí tahového po maximální hodnotu tlakového na poloměru vnitřním. Místem nulového napětí prochází tzv. neutrální osa, jejíž délka je podstatná pro určení délky rozvinutého polotovaru. Se zmenšujícím se poloměrem ohybu se neutrální osa vlivem poměrů v materiálu posouvá směrem do středu ohybu. Vzhledem k tomu, že v okolí neutrální osy nedojde k překročení meze kluzu materiálu, tak v této oblasti dochází pouze k elastické deformaci. Ta hraje významnou roli, protože vede k odpružení, které je nutné zohlednit při konstrukci nástroje. Odpružení obvykle dosahuje hodnot mezi 3 až 15°.



Obr. 3.17 Průběh napětí v místě ohybu [8]



Obr. 3.18 Odpružení [19]

Proměnnost napětí v průřezu vede také k vymezení důležitých parametrů pro ohýbání daného materiálu, zejména v souvislosti s jeho mechanickými vlastnostmi a tloušťkou. Jedná se o minimální a maximální poloměr ohybu. Maximální poloměr ohybu je takový poloměr, při kterém dojde k dosažení meze kluzu materiálu ve vnějších vláknech. Je-li poloměr ohybu vyšší, dochází pouze k elastické deformaci, takže materiál se po odtížení vrátí do původního tvaru. Naproti tomu minimální poloměr ohybu je obdobným způsobem omezen dosažením meze pevnosti a vznikem trhlin. Zde hraje významnou roli směr osy ohybu a směr vláken válcovaného plechu, který se ohýbá. Jsou-li na sebe kolmé, lze dosáhnout až polovičních hodnot minimálního poloměru ohybu oproti stavu, kdy jsou spolu rovnoběžné.

Kombinace stříhání a ohýbání může být velmi produktivní metodou, zejména s ohledem na možnost použití lisů s vysokým počtem zdvihů za minutu a možnost značné automatizace celého procesu bez velkých nároků na další zařízení. Je totiž možné pás plechu ze svitku rovnat na rovnačce a pak jej přímo podávat do lisu s postupovým nástrojem. V postupovém nástroji lze provést všechny potřebné tvářecí operace a tím pádem vyrábět hotové výrobky. Tento postup je ve firmě TOKOZ a.s. velmi dobře zvládnutý a osvědčený. Postupový nástroj také umožňuje znatelně jednodušší konstrukci oproti nástroji sdruženému. Náklady na výrobu jedné součásti jsou velmi nízké. Zajímavou možností je rovněž vyrábět několik výrobků na jeden zdvih ve víceřadém nástroji, ale vzhledem k velikosti výrobní série by nemuselo dojít

zvýšenou produktivitou ke kompenzaci složitějšího a tedy i dražšího nástroje. Na druhou stranu by bylo potenciálně možné zmenšit množství odpadu, zejména pokud by dodávané šířky pásu plechu neměly vhodné rozměry vzhledem k rozměrům jezdce.

Při stříhání plechů do tloušťky 4 mm lze běžně dosáhnout přesnosti stříhu IT12 – IT14, což v rozmezí rozměrů přes 3 mm do 6 mm, ve kterém se nachází tvarové prvky jezdce s nejmenšími tolerancemi, znamená dle ČSN EN 20286-1 velikost tolerančního pole (TP) 120 až 300 μm . Nejmenší požadovaná šířka TP však činí 0,05 mm (tzn. 50 μm). V případě použití stříhadla se zvýšenou přesností, které vyžaduje přesné vodící stojánky a přidržování materiálu v momentu stříhu, lze dosáhnout přesnosti IT9 až IT11. To pro dané rozmezí rozměrů znamená velikost TP 30 až 75 μm . Bylo by tedy potenciálně možné dosáhnout dostatečné přesnosti. Ale vzhledem k tomu, že požadované hodnoty jsou téměř nejnižší dosažitelné, tak by mohlo dojít k prodražení nástroje v důsledku jeho co nejpřesnějších rozměrů, a navíc není dosažení požadované přesnosti zaručené. Struktura povrchu plochy stříhu dosahuje při vystřihování (vnější obrys) Ra 3,2 až 6,3 μm a při děrování Ra 6,3 až 12,5 μm . Tyto parametry poněkud zlepšuje povrchová úprava ARCOR V7.

Pro ohýbání měkkých ocelí se minimální poloměr ohybu obvykle stanovuje jako 0,5 až 0,6 násobek tloušťky ohýbaného materiálu, výjimečně se uvádí 0,4 až 0,8 násobek. To pro plech tloušťky 1,2 mm připouští hodnotu nejméně 0,48 mm. U jezdce je však požadována hodnota poloměru ohybu 0,3 mm. Je nutné podotknout, že výše uvedené hodnoty jsou pouze orientační a reálná hodnota úzce souvisí se stavem materiálu - zda je žíhaný apod.. Zároveň jsou stanoveny pro měkkou ocel, zatímco použitý plech DC 04 je určen pro hluboké tažení, takže jeho vlastnosti jsou v tomto směru zřejmě lepší. V případě tří navazujících poloměrů (viz výkres součásti) by s dosažením hodnoty 0,3 mm neměl být problém, zohledníme-li fakt, že ohyb není prakticky prováděn do úhlu 90°. V každém případě však bude nutné ohyb provádět kolmo na směr vláken materiálu, což je nutné zohlednit při konstrukci nástroje.

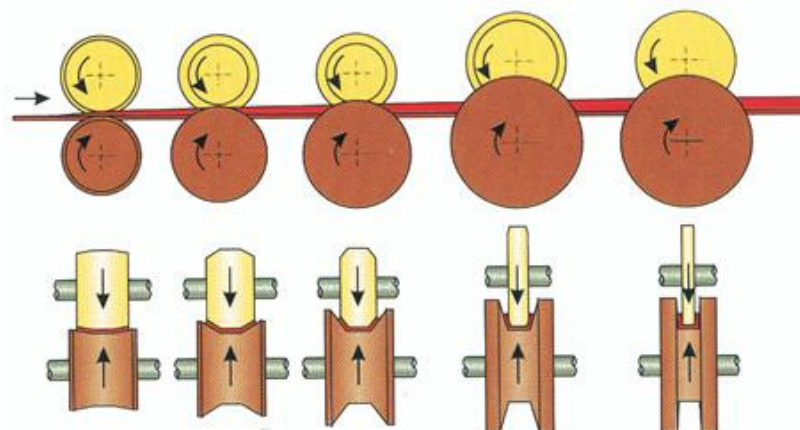
- Výhody - vysoce produktivní metoda
 - dobře zvládnutá a běžně používaná technologie
Nevýhody - požadovaná přesnost na hranici možností metody

3.5 Stříhání a kontinuální ohýbání tvarovými válci [6], [7]

Jedná se o neobvyklou kombinaci jinak vcelku běžných technologií, která by mohla umožňovat vysokou produktivitu výroby vzhledem ke kontinuálnímu průběhu.

Prvním krokem by bylo na pásku plechu, který prošel rovnáním, vystřihnout ozubení a prostřihnout otvor pro tvarový čep. Stříhání by probíhalo v postupovém nástroji, kde by se mohlo stříhat ozubení v délce několika výsledných součástí při jednom zdvihu, v druhém kroku by se razníky vytvořilo několik prolisů, jejichž počet by odpovídal délce ozubení. Tyto prolisy by po prostřiknutí otvorů tvořily požadované sražení jejich hran. Ve třetím kroku by se prostřihl odpovídající počet otvorů pro tvarový čep. Jednalo by se o částečné vystřiknutí kontury součástí bez jejich rozstřiknutí na jednotlivé kusy. Délka úseku vyráběného na jeden zdvih by byla dána zejména parametry použitého lisu.

Po vystřiknutí kontury součástí by musel v lince následovat prvek, který by kompenzoval neplynulé podávání pásu vystupujícího z lisu, například smyčka. Tato kompenzace by však musela být vhodně dimenzována, aby nedošlo k deformaci ozubení. Následovalo by kontinuální ohýbání v soustavě tvarových válců.



Obr. 3.19 Princip kontinuálního ohýbání tvarovými válci [19]

Posledním krokem by bylo rozstříhání vytvarovaného pásu na jednotlivé součásti. K této operaci by se muselo přistupovat obdobně jako ke stříhání tenkostěnných trubek, aby nedošlo k deformaci profilu. Stříhání by muselo být provedeno s odpadem, aby byla zajištěna dobrá kvalita střížné plochy. Délka odstřížku by musela odpovídat šířce mezery mezi zuby jezdce, aby došlo k vytvoření součásti přesného tvaru. Kvůli zachování velké rychlosti celého procesu by bylo vhodné pro stříhání použít lis s velkým počtem zdvihů za minutu.

Tento postup výroby by mohl být vysoce produktivní, vyžadoval by však sestavení výrobní linky sestávající se ze dvou lisů, rovnačky, kompenzační smyčky a stroje na ohýbání tvarovými válci. Linka by nesměla být koncipována jako jednoúčelová, protože doba návratnosti pořizovacích nákladů by pak byla příliš dlouhá a vzhledem k velikosti série by byla nevyužita její výrobní kapacita. V případě využití stávajícího strojového vybavení by muselo být provedeno alespoň jeho přemístění. Zásadním problémem tohoto řešení by pravděpodobně bylo obtížné seřizování celé linky, a odladění nedostatků při zavádění výroby.

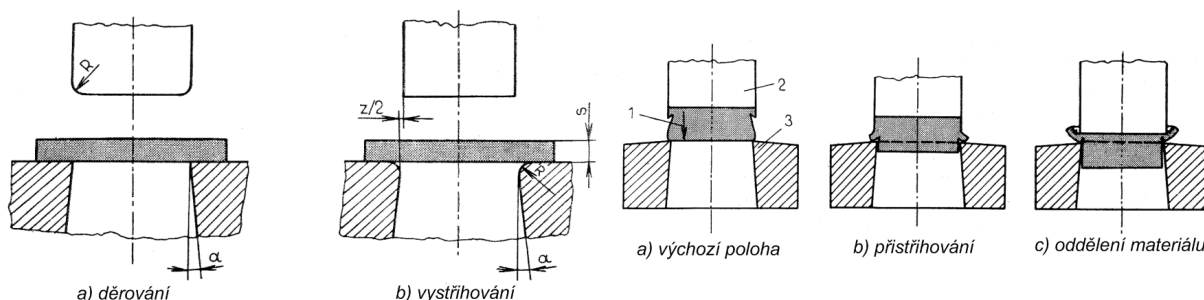
- | | |
|----------|--|
| Výhody | - teoreticky možná až několikanásobná produktivita oproti běžnému lisování |
| Nevýhody | - vysoké pořizovací náklady |
| | - nutnost zaplnit nevyužité výrobní kapacity strojů v lince |
| | - obtížné zavádění výroby a seřizování |

3.6 Přesné stříhání a ohýbání plechu [7], [22], [24]

Cílem přesného stříhání je dosáhnout lepší kvality střížné plochy a větší přesnosti stříhání oproti konvenčnímu způsobu. Do oblasti přesného stříhání se řadí značné množství různých technologických postupů. Obvykle se uvádí stříhání se zaoblenou střížnou hranou, přistřihování, stříhání se zkoseným přidržovačem, reverzní stříhání nebo stříhání s tlačnou hranou.

Při stříhání se zaoblenou střížnou hranou může být zaoblení buď na střížnici nebo na střížníku podle toho, jestli se jedná o stříhání vnějšího nebo vnitřního tvaru. Velikost zaoblení se obvykle volí 0,15 až 0,2 násobek tloušťky stříhaného materiálu, v případě tvarově složitější součásti i 0,25 násobek. Při tomto způsobu stříhání nedochází ke vzniku střížné trhliny na straně zaobleného břitů, takže je kvalita střížné plochy vyšší. Vliv zaoblení roste se zmenšující se střížnou vůlí, která se obvykle volí v rozmezí 0,01 až 0,02 mm, což klade značné nároky na ustavení polohy střížníku vůči střížnici. Dosahovaná přesnost je IT9 až IT11, což není pro potřeby výroby jezdce hodnota vhodná (viz konvenční stříhání a ohýbání). Struktura povrchu střížné plochy je Ra 0,4 až 1,6 μm . Tato metoda není příliš vhodná pro velkosériovou výrobu, zejména z důvodů obtížných oprav opotřeбенí na zaoblené hraně.

Přistřihování je založeno na odstříhnutí úzké části plechu z původní plochy stříhu, čímž dojde ke zlepšení výsledné kvality. Je však nutné při předchozím stříhání počítat s přídavkem na přistřihování, který bývá obvykle v rozmezí 0,1 až 0,5 mm. Tato technologie však není určena pro velkosériovou výrobu, nemá tedy smysl se jí hlouběji zabývat.

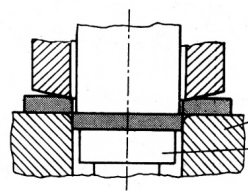
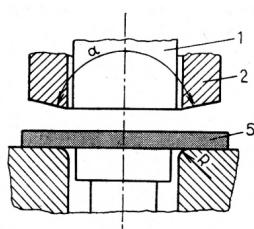


Obr. 3.20 Stříhání se zaoblenou střížnou hranou [22]

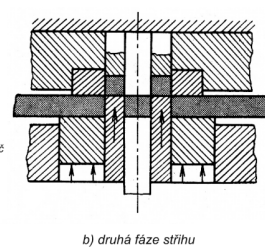
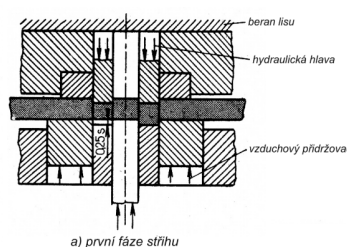
Obr. 3.21 Přistřihování [22]

Při stříhání se zkoseným přidržovačem má přidržovač vrcholový úhel $178^\circ 30'$ a střížnice je zaoblená s poloměrem menším nebo rovným 0,01 mm. Tato metoda se však prakticky nepoužívá.

Reverzní stříhání probíhá ve dvou fázích. V první fázi dojde k nastřížení materiálu, dokud stříh probíhá plastickou deformací. Výška zdvihu nástroje je cca 25 % tloušťky plechu. V druhé fázi dojde k prostřížení opačným směrem. Vzniká hladká a kvalitní střížná plocha, pro materiály do tloušťky 3,5 mm bez nutnosti použít tlačnou hranu. Typickým znakem je zaoblení obou hran výstřižku a žádný ořep. Zásadními nevýhodami této metody jsou nutnost použít přídatná zařízení umožňující požadovaný pohyb nástroje a komplikovaná konstrukce nástroje. Je také nutné vzít v potaz delší dobu stříhu způsobenou reverzací, což snižuje produktivitu této technologie.

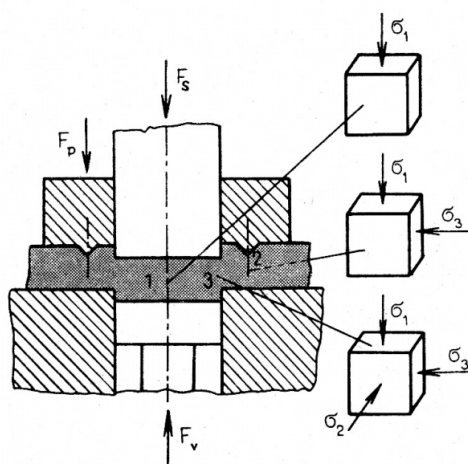


Obr. 3.22 Stříhání se zkoseným přidržovačem [22]

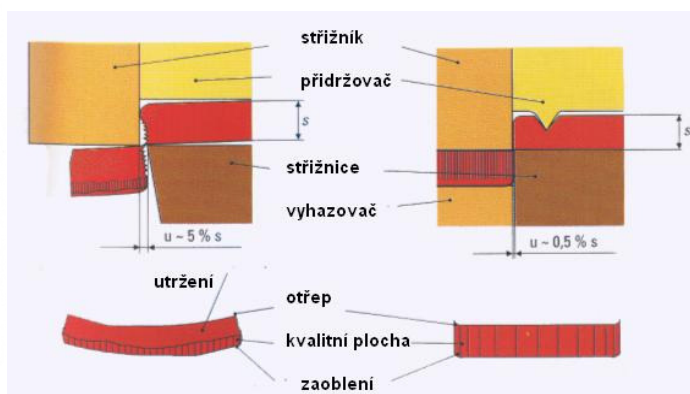


Obr. 3.23 Reverzní stříhání [22]

Princip stříhání s tlačnou hranou je založen na vtlačení tlačné hrany, která je součástí přidržovače, do stříhaného plechu v blízkosti stříhu, čímž dojde při stříhání ke vzniku trojosé napjatosti. Trojosá napjatost způsobuje místo tahového napětí v materiálu napětí tlakové, které podporuje schopnost plastické deformace, což vede k rozšíření žádoucí oblasti plastické deformace – ideálně až na celou plochu stříhu. Jistou nevýhodou je obvykle nutnost většího procenta odpadu, které je způsobeno zvětšením můstku a okraje pásu plechu kvůli prostoru pro tlačnou hranu. Touto metodou nelze vystřihovat ostré rohy, protože zvyšují opotřebení nástroje a zároveň vedou ke vzniku nekvalitní střížné plochy. Pro tloušťku plechu 1,2 mm, ze kterého je jezdec vyráběn, je však předepsané zaoblení rohů o velikosti 0,3 mm při vrcholovém úhlu 90° dostatečně velké. Dosahovaná přesnost je pro plechy o tloušťce 1 až 2 mm IT7, což znamená pro rozměry přes 3 mm do 6 mm velikost tolerančního pole 12 μm . Struktura povrchu střížné plochy je $R_a 0,4$ až $1,6 \mu\text{m}$ a její odchylka od kolmosti se pohybuje mezi 0,01 až 0,02 mm. Stříhání s tlačnou hranou je jedinou běžně používanou variantou přesného stříhání ve velkosériové výrobě.



Obr. 3.24 Schéma napjatosti při stříhání s tlačnou hranou [22]



Obr. 3.25 Srovnání konvenčního stříhání a stříhání s tlačnou hranou [19]

Vzhledem k uvedeným parametrům jednotlivých technologických variant je zřejmě nejvhodnějším způsobem výroby jezdce v případě použití této metody výroby přesné stříhání s tlačnou hranou. Kvůli obtížnější výrobě tlačné hrany by se části, kde její využití není zapotřebí, vyráběly pomocí klasického stříhání, čímž by došlo také ke zmenšení procenta odpadu. Výrobní postup při přesném stříhání by byl obdobný, jako u stříhání konvenčního.

Princip ohýbání a jeho vlastnosti by se ve srovnání přesného stříhání a ohýbání s konvenčním stříháním a ohýbáním nijak nezměnili. Bohužel vzhledem k tomu, že nástroj pro přesné stříhání je velmi složitý, tak není vhodné, aby byl konstruován jako postupový. Ze stejného důvodu nemůže být použit ani nástroj sdružený. Je tedy nutné provádět ohyb zvlášť, čímž poněkud narůstá časová a finanční náročnost výroby. Tato skutečnost je však vyvážena vysokou kvalitou výrobku.

Velmi vysoká přesnost stříhání dává také jistý prostor ke kompenzaci případných nepřesností, které by mohly vzniknout zejména při ohýbání ozubení jezdce.

- Výhody
- velmi vysoká přesnost
 - produktivní metoda
 - zvládnutá technologie
- Nevýhody
- nutnost provádět ohyb zvlášť

4. ZÁVĚR

Jezdec je součástí tvarově složitá a jsou kladeny vysoké požadavky na její rozměrovou přesnost s ohledem na zajištění její funkčnosti. Nejnáročnějším tvarovým prvkem je ozubení, které umožňuje spoluzáběr s ozubeným hřebenem a tím zajištění polohy rozpěry aretačního mechanismu vyráběného firmou TOKOZ a.s.. Velikost výrobní série je 200 000 ks ročně.

Možné výrobní technologie jsou: odlévání, nekonvenční metoda MIM (vstřikování kovových prášků), nekonvenční metody dělení plechu (řezání vodním paprskem, kyslíkem, plazmou, svazkem elektronů a laserem) a ohýbání, konvenční stříhání a ohýbání, stříhání a kontinuální ohýbání tvarovými válci a přesné stříhání a ohýbání.

Pro zhodnocení vhodnosti uvedených technologií výroby jezdce je nutné zohlednit zejména dosažitelnou přesnost a kvalitu součásti a ekonomickou náročnost. Podstatná je také velikost výrobní série, čas nutný na výrobu, dostupnost strojního vybavení, zkušenosti s danou variantou ve firmě nebo náklady a náročnost zavádění technologie nové.

Odlévání nabízí možnost minimalizovat procento odpadu a zároveň sloučit jezdce s tvarovým čepem, čímž dojde k ušetření operací montáže a výroby čepu. Použití oceli, která by měla mechanické vlastnosti odpovídající materiálu předepsanému na výkrese, není možné. Alternativou by mohlo být použití slitiny zinku. Není bohužel možné zajistit dostatečnou kvalitu odlitku, aby vyhovoval požadavkům na namáhání. Navíc by nebylo možné použít předepsanou povrchovou úpravu, která má zásadní vliv na užité vlastnosti součásti.

Metodou MIM by bylo možno dosáhnout výrobku vynikajících vlastností. Součásti vyrobené touto technologií jsou vysoce rozměrově přesné a je možné použít široké spektrum materiálů, čímž by bylo možné zajistit bez problémů požadované mechanické parametry. MIM je také primárně určena pro velkosériovou výrobu malých tvarově složitých výrobků, což jezdce přesně splňuje. Zásadní nevýhodou by byla nutnost provádět výrobu v kooperaci. Tím by došlo k nárůstu i tak relativně značných nákladů oproti stříhání a ohýbání.

Nekonvenční metody dělení plechu jsou pro výrobu jezdce nevhodné. Zásadním problémem je nedostačující přesnost a kvalita řezu, značná finanční náročnost, atd.. Vzhledem k nutnosti provádět ohýbání zvlášť po jednotlivých kusech narůstají neúměrně výrobní náklady. Ani jedna z těchto technologií dělení materiálu není ve firmě TOKOZ zavedena, což by vyžadovalo zakoupení příslušných strojů a výškolení pracovníků.

Konvenční stříhání a ohýbání je velmi produktivní a ve firmě dobře zvládnutý výrobní postup. Firma je vybavena množstvím vhodných lisů a zaměstnává dostatek odborníků zběhlých v konstrukci potřebných postupových nástrojů. Potřebná rozměrová přesnost je však na hranici možností metody.

Stříhání a kontinuální ohýbání tvarovými válci může skýtat značný potenciál, co se produktivity týče. Navrhovaný postup spočívající ve vystřižení ozubení a otvoru pro tvarový čep s následným ohýbáním celého pásu a rozstříháním na jednotlivé součásti však má mnoho úskalí. Bylo by pravděpodobně velmi obtížné zavádění výroby a seřizování celé výrobní linky, kterou by bylo nutné zakoupit. Vysoká produktivita postupu by vedla vzhledem k velikosti série k výraznému nenaplnění výrobní kapacity linky.

Přesné stříhání a ohýbání umožňuje dosažení velmi vysoké rozměrové přesnosti. Nejvhodnější parametry má přesné stříhání s tlačnou hranou. Tato technologie se značně podobá konvenčnímu stříhání a ohýbání, takže pro ni platí uvedená pozitiva, pouze produktivita je poněkud nižší.

Z výše uvedeného souhrnu parametrů jednotlivých technologií vzhledem ke stanoveným požadavkům je zřejmé, že jako nejvhodnější z hlediska přesnosti se jeví pro výrobu jezdce použít přesné stříhání s tlačnou hranou a ohýbání. Nelze však opomenout ani kombinaci konvenčního stříhání s ohýbáním, která také teoreticky dosahuje požadované přesnosti a zároveň může být při použití postupového nástroje mnohem produktivnější.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *AB JET - Zakázkové pracoviště komplexní strojírenské výroby* [online]. 2009 [cit. 2010-05-23]. Fotogalerie. Dostupné z WWW: <http://www.abjet.cz/photogallery/watter_jet/cz/index.html>.
2. BOUDA, Luděk. Přednosti řezání vodním paprskem. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2006, 7, [cit. 2010-04-12]. s. 41. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/prednosti-rezani-vodnim-paprskem>>.
3. BOUDA, Luděk. Řezání vodním paprskem. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, 7, [cit. 2010-04-12]. s. 42. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/rezani-vodnim-paprskem>>.
4. BRINGAS, John E. *CASTI metals black book : European ferrous data* [online]. second edition. Edmonton (Alberta) : CASTI Publishing, 2003 [cit. 2010-04-21]. CASTI metals data book. Dostupné z WWW: <www.asminternational.org/pdf/blackbookeurolite.pdf>. ISBN 1-894038-74-6.
5. *CustomPartNet : Manufacturing Cost Estimation* [online]. 2009 [cit. 2010-05-23]. Metal Injection Molding. Dostupné z WWW: <<http://www.custompartnet.com/wu/metal-injection-molding>>.
6. DVOŘÁK, Milan, et al. *Technologie II*. 3. doplněné vydání. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2004. 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
7. DVOŘÁK, Milan; GAJDOŠ, František; NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření : plošné a objemové tváření*. čtvrté. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
8. DVOŘÁK, Milan; MAREČKOVÁ, Michaela. *Technologie tváření : Studijní opory pro kombinované studium* [online]. Brno : Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, září 2006 [cit. 2010-05-23]. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/index.htm>.
9. *Eurit srl : Parts and subassemblies for Industry* [online]. 22.1.2010 [cit. 2010-05-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.euritsrl.com/preso-eng.htm>>.
10. FOREJT, Milan; PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. první. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
11. Flow International Corporation. *Flow* [online]. 3.7.2009 [cit. 2010-05-23]. Vodní paprsek a jeho možnosti. Dostupné z WWW: <<http://www.flowcorp.cz/novinky-15/?aid=91&p=1>>.
12. HLAVATÝ, Ivo. *Laserové a plazmové řezání* [online]. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 12.1.2010 [cit. 2010-05-18]. 13 s. Dostupné z WWW: <homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/16-17-83-84.pdf>.

13. HUMÁR, Anton. *Technologie I : technologie obrábění - 2.část* [online]. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2004 [cit. 2010-04-19]. 95 s. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Dostupné pouze v síti VUT. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf>.
14. HUMÁR, Anton. *Technologie I : technologie obrábění - 3.část* [online]. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2005 [cit. 2010-04-19]. 57 s. Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program. Dostupné pouze v síti VUT. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf>.
15. CHUDÍK, Ivan. Dělení materiálů kyslíkovým řezáním. *Konstrukce : Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. 13. 7. 2009, č. 3, [cit. 2010-05-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.konstrukce.cz/clanek/deleni-materialu-kyslikovy-m-rezanim/>>.
16. *Indo-US MIM Tec Pvt. Ltd. : Metal Injection Molding* [online]. 2010 [cit. 2010-05-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.indo-mim.com/home.html>>.
17. KRUTINA, Jiří. Laserové technologie v průmyslu. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010, 3, [cit. 2010-04-15]. s. 30. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/laserove-technologie-v-prumyslu>>.
18. KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie II : část svařování - díl 2 - Speciální metody tavného svařování, tlakové svařování* [online]. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2006 [cit. 2010-04-19]. 69 s. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_2__svarovani/technologie_2__specialni_metody_svarovani.doc>.
19. LENFELD, Petr. *Katedra tváření kovů a plastů : skripta* [online]. [200?] [cit. 2010-04-24]. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm>.
20. *MD Industrial Systems Limited* [online]. 200? [cit. 2010-05-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.mdind.com/Products.htm>>.
21. NOVÁ, Iva; HOŠEK, Zdeněk; NOVÁKOVÁ, Iva. Rozvoj tlakového lití. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2004, 5, [cit. 2010-05-18]. s. 79. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/rozvoj-tlakoveho-liti>>.
22. NOVOTNÝ, Josef; LANGER, Zdeněk. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. vydání první. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980. 216 s. L 13-B 3-IV-41/22674.
23. PETRUŽELKA, Jiří; BŘEZINA, Richard. *Úvod do tváření I* [online]. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2001 [cit. 2010-04-24]. 161 s. Dostupné z WWW: <http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV1.pdf>.

24. PETRUŽELKA, Jiří; BŘEZINA, Richard. *Úvod do tváření II* [online]. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2001 [cit. 2010-05-18]. 115 s. Dostupné z WWW: <http://www.345.vsb.cz/jiripetruzeka/Texty/Uvod_TV2.pdf>.
25. ŘASA, Jaroslav; KEREČANINOVÁ, Zuzana. Nekonenční metody obrábění 4. díl. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, 3, [cit. 2010-05-18]. s. 80. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonecni-metody-obrabeni-4-dil>>.
26. ŘASA, Jaroslav; KEREČANINOVÁ, Zuzana. Nekonenční metody obrábění 5. díl. *MM Průmyslové spektrum*. 2008, 5, s. 68-72. Dostupný také z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonecni-metody-obrabeni-5-dil>>.
27. ŘASA, Jaroslav; KEREČANINOVÁ, Zuzana. Nekonenční metody obrábění 6. díl. *MM Průmyslové spektrum*. 2008, 6, s. 58-59. Dostupný také z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonecni-metody-obrabeni-2>>.
28. ŘASA, Jaroslav; KEREČANINOVÁ, Zuzana. Nekonenční metody obrábění 7. díl. *MM Průmyslové spektrum*. 2008, 7,8, s. 38-39.
29. ŘASA, Jaroslav; KEREČANINOVÁ, Zuzana. Nekonenční metody obrábění 8. díl. *MM Průmyslové spektrum*. 2008, 10, s. 32-34. Dostupný také z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonecni-metody-obrabeni-8-dil>>.
30. *Salzgitter Flachstahl* [online]. [2010?] [cit. 2010-04-21]. Steel grades, sizes and weights. Dostupné z WWW: <http://www.salzgitter-flachstahl.de/en/Produkte/kaltfein_oberflaechenveredelte_produkte/Kaltgewalztes_Feinblech/Stahlsorten_Masse_und_Gewichte/>.
31. *SSI Technologies, Inc.* [online]. 2008 [cit. 2010-05-18]. Metal Injection Molding. Dostupné z WWW: <http://www.ssisintered.com/MIM_index.html>.
32. TOKOZ, a.s., Žďár nad Sázavou. Zajišťovací ústrojí pro okna, dveře a podobně. Původce vynálezu: Luboš DVOŘÁK. Česká republika. Přihláška vynálezu 2008-196. Datum zveřejnění: 2009-10-07. Dostupné z WWW: <<http://isdv.upv.cz/portal/pls/portal/portlets.pts.det?xprim=1059662&lan=cs>>.
33. Tvarové dělení kovů plazmou. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002, 10, [cit. 2010-04-13]. s. 23. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/tvarove-deleni-kovu-plazmou>>.
34. *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. 2008, 17.5.2010 [cit. 2010-05-18]. Zamak. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Zamak#Zamak_5>.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1 – Rozměry a tolerance jezdce

Příloha č.2 – Popis funkce aretačního mechanismu

Příloha č.3 – Popis vlastností povrchové úpravy ARCOR V7